

Андренко П. М.,
Клітної В. В.

ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ОБЛАСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНИХ МЕТОДІВ ГАСІННЯ ВІБРАЦІЙ І ШУМУ В ГІДРО- І ПНЕВМОПРИВОДАХ

Проаналізовано причини виникнення шуму і вібрації в гідро- пневмоприводах. Встановлено спектр частот, які виникають в них. Розглянуто пристрої гасіння шуму та вібрації в системах гідро-пневмоприводів. Особлива увага приділена пристроям активної компенсації низькочастотного шуму і вібрації збудованих за принципами схем зі зворотнім зв'язком та схем, працюючих по збуренню. Встановлені перспективні схемні рішення таких пристроїв та ефективні області їх застосування.

Ключові слова: вібрація, шум, гідропривод, пневмопривод, активні системи, гасіння вібрацій, гасіння шуму.

1. Вступ

Завдяки своїм відомим перевагам гідравлічні і пневматичні приводи та агрегати широко застосовуються в різних галузях машинобудування як виконавчі механізми сучасних мехатронних модулів, систем керування виробничими процесами, технологічними та мобільними машинами. Це обумовлює поглиблене вивчення їх властивостей, розвитку методів розрахунку та проектування. Так як стратегічним напрямком розвитку гідрофікованих машин та обладнання є підвищення тиску особливу увагу приділяють динамічним процесам, що протікають в них [1].

Пульсації тиску рідини і газу, що виникають при роботі гідравлічних і пневматичних приводів, є джерелом інтенсивної вібрації та шуму, значення яких регламентовано відповідними ДСТУ, і сприяє зниженню безпеки експлуатації і надійності усієї машини, та руйнуванню трубопроводів і агрегатів, і може призвести до аварій з тяжкими наслідками. Вони також провокують передчасний знос устаткування і негативно впливають на безпеку життєдіяльності. Особливо серйозну проблему являє боротьба з низькочастотними шумами і вібраціями. Якщо високочастотний шум швидко затухає при поширенні, то низькочастотний — поширюється без особливого поглинання на значну відстань.

Слід зазначити, що зважаючи на наявність довгих акустичних хвиль, проблема зниження низькочастотного шуму і вібрації в гідро- та пневмоприводах традиційно є складним і дорогим завданням, а для багатьох випадків — нездійсненним. Якщо розглядаються тільки засоби пасивного гасіння, то довгі хвилі обумовлюють необхідність використання великих глушників і важких засобів огороження для зниження шуму, а також дуже м'яких систем ізоляції і/або дорогих методів структурного гасіння (використання вібропоглиначів) для зниження вібрації, можливості ефективного використання яких на сьогодні практично вичерпано. Усе це примушує дослідників і практиків шукати і впроваджувати інші підходи до зниження низькочастотного шуму і вібра-

ції. На сьогодні до одних з найбільш перспективних відноситься метод активного гасіння шуму і вібрації.

2. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єктом досліджень є системи з гідравлічними та пневматичними приводами.

Метою цієї роботи є обґрунтування доцільності застосування систем активного гасіння вібрацій та шуму в сучасних системах гідро- і пневмоприводів, промислового обладнання збудованого з їх використанням.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Провести аналіз динамічних процесів, що протікають в гідро- і пневмоприводах. Виявити найнебезпечніші джерела вібрації і шуму.
2. Проаналізувати можливість використання відомих систем активного гасіння вібрацій для забезпечення безпеки експлуатації і надійності розглядаємих систем та зниження шуму.

3. Аналіз літературних даних

Для боротьби з вібраціями та шумом традиційно використовують пасивні методи, які полягають в застосуванні різних гасителів, принцип дії яких ґрунтується на ізоляції і відбитті коливань, чи на розсіюванні енергії цих коливань. Вказана проблема вирішується також завдяки усуненню конструктивними заходами причин, що збуджують вібрації і шум, чи дозволяють послабити дії цих причин.

Пасивні методи зниження вібрацій та шуму в насосах, гідромоторах, приводних електродвигунах та в гідроапаратурі досить докладно розглянуті у роботах [2, 3]. Області ефективного використання пасивних гідравлічних гасителів пульсацій тиску розглядаються в роботах [4, 5]. Встановлено, що їх використання для гасіння низькочастотного спектра частот є малоефективним. У той же час, основними гармоніками спрацювання гідравлічних та пневматичних виконавчих механізмів і їх елементів є частоти до 30 Гц [6].

Вище зазначене спонукає більшу увагу приділяти активним системам гасіння вібрацій та шуму, які ефективно працюють на низьких частотах. Виникає необхідність провести детальний аналіз існуючих прикладів використання таких систем в гідро- пневмоприводах.

4. Джерела вібрації і шуму в гідро- і пневмоприводах

Пневмогідрравлічну систему доцільно представити як деяку конструкцію взаємозв'язаних елементів, робочим тілом в яких є повітря або рідина. У таких системах, є два основні джерела вібрацій і шумів: створювані рідиною (повітрям) і які передаються через неї, та вібрації і шум силового устаткування, які передаються механічними частинами.

Основним збудником вібрацій і шуму в пневмогідрравлічних системах, у більшості випадків, є джерело пневматичної або гідрравлічної енергії. Частотний спектр збуджуваного ними шуму складається з негармонійних складових, викликаних коливаннями тиску рідини або повітря і механічними вібраціями деталей таких систем. Крім того джерелом механічних коливань та шумів є коливання тиску рідини викликана спрацюванням виконавчих і розподільчих елементів гідро- пневмопривода. У результаті розвивається складний коливальний процес і відповідно — складний звуковий спектр з широким діапазоном частотних складових.

Наступним, за значимістю, джерелом вібрацій і шуму можна назвати з'єднувальні трубопроводи. Джерелами шуму в яких є локальні області стискань і розріджень, які утворюються по усій довжині трубопроводу. Основним джерелом шуму в таких трубопроводах — шум, що виникає в них при передачі коливань тиску робочої рідини або повітря.

Джерелом механічних шумів є також електромотор. Шум у якому пов'язаний з погіршенням балансування ротора, наявністю дефектів на його поверхні та порушенням роботи підшипників.

Слід мати на увазі, що, якщо власна частота коливань елементів машини наближається, або дорівнює частоті пульсації потоку рідини (повітря), або кратна їй, то елементи машини починають резонувати, і шуми посилюються.

5. Системи активного гасіння шуму і вібрацій

Слід зазначити, що методи активної боротьби з шумом доповнюють традиційними пасивними методами і застосовуються зазвичай при гасінні низьких частот. При цьому у системах активного контролю вібрацій і шуму широко застосовуються адаптивні елементи. Схеми які використовуються у таких системах, незалежно від сфери застосування, практично однакові, будь то для гасіння шуму і вібрацій в пневматичних системах, або пульсацій рідини і шуму в гідрравлічних. У кожному конкретному випадку відрізнятимуться виконавчі механізми, датчики і пристрої, що коригують.

На теперішній час слід виділити два основні принципи управління системами гасіння вібраціями та шумом, рис. 1.

Узагальнена схема методу контролю зі зворотнім зв'язком представлена на рис. 1, а. Сутність методу по-

лягає в тому, що вихідний сигнал системи подається на контролер і в подальшому, після перетворення впливає на саму систему. Основним завданням при реалізації цього методу є підбір відповідного контролера, який би дозволив замкнутій системі залишатися стійкою і виконувати поставлене завдання активного демпфування [7, 8].

Іншим, найчастіше використовуваним методом контролю в системах активного гасіння вібрацій, є метод регулювання по збуренню, рис. 1, б, який знайшов успішне застосування у ряді прикладних дослідницьких робіт [9, 10].

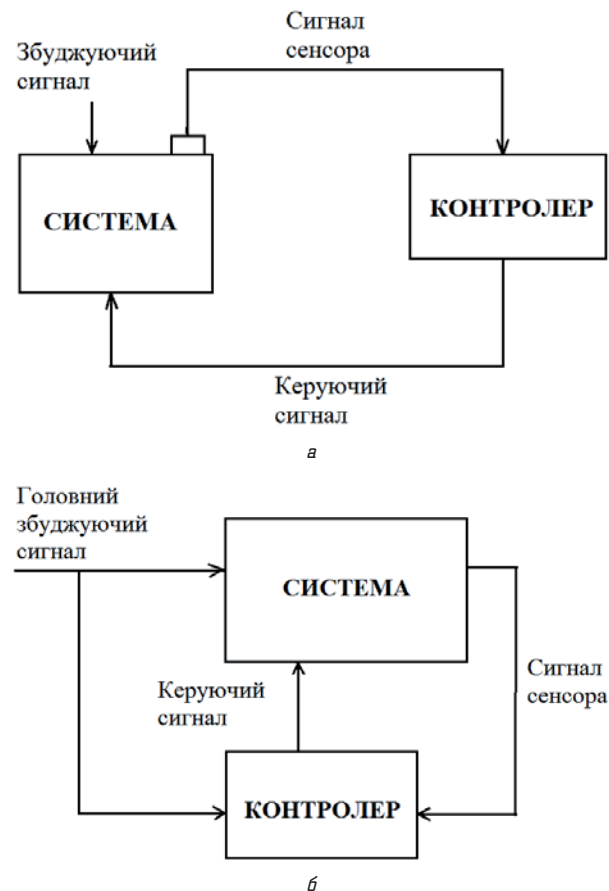


Рис. 1. Схеми методу контролю: а — зі зворотнім зв'язком; б — по збуренню

Цей метод ґрунтується на тому, що основний сигнал збурення проходить через контролер і подається на систему через вторинне джерело. Ідея методу полягає в тому, що повинне створитися вторинне збурення, яке повністю погасить початкове збудження в зонах розташування сенсорів. Звичайно, немає ніякої гарантії, що збурення будуть погашені і в інших областях системи. Не виключено, що в деяких зонах вони будуть посилені. Тому цей метод розглядають як локальний, на відміну від методу зворотного зв'язку, який є глобальним. Слід також зазначити, що на відміну від методу зворотного зв'язку, який дозволяє ослабити збурення біля резонансних піків, метод контролю по збуренням вирішує задачу повного гасіння вібрацій на будь-якій частоті, генеруючи вторинний сигнал в протифазі до основного.

Практичне використання активної компенсації звуку і вібрації стало можливим тільки з появою у 80-х роках

сучасної цифрової електроніки, зокрема, адаптивної цифрової обробки сигналів. Ефективне зниження вібрації в гідроприводах може бути досягнуте з використанням малогабаритних активних пристроїв компенсації пульсацій тиску, здатних ефективно згладжувати їх в трубопровідних системах. Так в роботі [11] описується виконавчий пристрій для активного гасіння пульсацій тиску виконаного у вигляді швидкодіючого п'єзоелектричного клапана, встановленого байпасно навантаженню. Пульсації тиску вимірюються датчиком тиску, перетворюються і поступають у блок Фур'є аналізу. До цього блоку надходить опорний сигнал з гідравлічних клапанів загального порту, який використовується для виділення основної і кратних складових пульсацій.

Останнім часом все більше застосування отримують активні глушники шуму, виконані за схемою зворотного зв'язку [12]. Активна компенсація базується на принципах суперпозиції і інтерференції — накладення в просторі, або на поверхні двох чи декількох звукових, або вібраційних хвиль, при якому в різних точках домагаються послаблення результуючої хвилі. Якщо поширюються дві хвилі, то в кожній точці результуюче коливання є геометричною сумою коливань, що відповідають кожній з хвиль, які складаються.

Ряд інших розроблених пристроїв і конструктивних схем активних компенсаторів низькочастотного шуму і вібрації описані в роботах [13–15]. Промислове застосування розроблених конструкцій, а також нових варіантів можливе в найрізноманітніших галузях: машинобудування, енергетика, хімічна промисловість, житлово-комунальне господарство та ін., зокрема, при розробці і експлуатації насосів, компресорів, вентиляторів, повітродувок, теплообмінників, при транспортуванні газів і рідин по трубопровідних системах тощо.

6. Обговорення результатів дослідження ефективності використання систем активного гасіння вібрацій в гідро- і пневмоприводах

Аналіз вивчаємої проблематики показав, що доповнення класичних пасивних систем боротьби з вібраціями і шумом у гідро- та пневмоприводах активними, дозволяє значно підвищити ефективність таких систем контролю. В результаті цього відкривається можливість позитивного вирішення проблеми боротьби з вібраціями та шумом на всьому відомому спектрі частот.

В подальшому планується розробка елементів систем активного гасіння вібрацій та шуму в гідро- та пневмоприводах, зокрема сенсорів та актуаторів в залежності від структури системи гідро- пневмопривода.

7. Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Найбільш вагомими збудниками вібрацій і шуму в пневмогідравлічних системах є джерела пневматичної або гідравлічної енергії, з'єднувальні трубопроводи, електромотор. Основними гармоніками шуму і вібрації в сучасних системах гідро- пневмоприводів у багатьох випадках є низькочастотні.

2. Для їх ефективного гасіння традиційні методи гасіння повинні бути доповнені активними. Для зменшення збурення біля резонансних піків ефективно за-

стосовувати системи зі зворотнім зв'язком, а для гасіння вібрацій на всьому спектрі частот — схеми з контролем по збуренню.

Література

1. Андренко, П. Н. Тенденции развития объемных гидроприводов [Текст] / П. Н. Андренко, З. Я. Лурье // Промислова гідравліка і пневматика. — Вінниця: ВДАУ, 2013. — № 3(41). — С. 3–12.
2. Фінкельштейн, З. Л. Експлуатація, обслуговування та надійність гідравлічних машин і гідроприводів [Текст]: навч. посіб. / З. Л. Фінкельштейн, П. М. Андренко, О. В. Дмитрієнко; під ред. проф. П. М. Андренка. — Х.: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2014. — 318 с.
3. Андренко, П. М. Гасителі пульсацій тиску об'ємних гідроагрегатів [Текст]: монографія / П. М. Андренко, О. В. Дмитрієнко, М. С. Свиноренко. — Х.: Вид-во «НТМТ», 2012. — 160 с.
4. Андренко, П. М. Параметричні дослідження гідравлічного гасителя пульсацій тиску з автоматичним підстроюванням параметрів [Текст] / П. М. Андренко, М. С. Свиноренко, А. Х. Реметова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці і технології. — 2014. — № 6(1049). — С. 9–19.
5. Андренко, П. М. Визначення раціональних конструктивних параметрів пасивних гасителів пульсацій тиску [Текст] / П. М. Андренко, О. В. Дмитрієнко, Ю. Ю. Богус // Промислова гідравліка і пневматика. — Вінниця: ВДАУ, 2014. — № 1(43). — С. 83–89.
6. Андренко, П. Исследование волновых процессов в гидроагрегате питания гидросистем [Текст] / П. Андренко, О. Панамарьова // MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. — Lublin — Simferopol — Mykolayiv — Kiev — Lviv — Rzeszow, 2012. — Vol. 14, № 1. — С. 3–9.
7. Von Flotow, A. H. Wave-absorbing controllers for a flexible beam [Text] / A. H. Von Flotow, B. Schaefer // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. — 1986. — Vol. 9, № 6. — P. 673–680. doi:10.2514/3.20163
8. Baillargeon, B. P. Active Vibration Suppression of Sandwich Beams using Piezoelectric Shear Actuators: Experiments and Numerical Simulations [Text] / B. P. Baillargeon // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. — 2005. — Vol. 16, № 6. — P. 517–530. doi:10.1177/1045389x05053154
9. Ishihama, M. Vibration suppression of space-frame body structure by active dynamic damper and adaptive feed-forward control scheme [Text]: Proceedings of International Conference on Motion and Vibration Control / M. Ishihama, S. Iizuka // The Japan Society of Mechanical Engineers. — 2002. — Vol. 6, № 1. — P. 82–87.
10. Preumont, A. Active Control of Structures [Text] / A. Preumont, K. Seto. — John Wiley & Sons, Ltd, 2008. — 296 p. doi:10.1002/9780470715703
11. Pan, M. Active control of pressure pulsation in a switched inertance hydraulic system [Text] / M. Pan, N. Johnston, A. Hillis // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering. — 2013. — Vol. 227, № 7. — P. 610–620. doi:10.1177/0959651813490096
12. Мальцев, А. А. Адаптивные системы активного гашения шума и выбраний [Текст] / А. А. Мальцев, Р. О. Масленников, А. В. Хоряев, В. В. Черепенников // Акустический журнал. — 2005. — № 51. — С. 242–258.
13. Васильев, А. В. Снижение низкочастотной вибрации трубопроводов энергетических установок [Текст] / А. В. Васильев // Наука — производству. — Август 2004. — № 8. — С. 68–70.
14. Белогубцев, Е. С. Проблемы и предварительные результаты испытания систем активного гашения низкочастотных сигналов в водной и воздушной среде [Текст] / Е. С. Белогубцев, А. В. Кирюхин, Г. Н. Кузнецов и др. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. — 2011. — Т. 4, № 3. — С. 93–107.
15. Noise attenuation in a hydraulic circuit [Electronic resource] / Patent US 6854269 B2, МПК F16D 031/02. — Publ. 15.02.2005. — Available at: \www/URL: <http://www.google.co.in/patents/US6854269>

УСТАНОВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПОДАВЛЕНИЯ ВИБРАЦИЙ И ШУМА В ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОДАХ

Проанализированы причины возникновения шума и вибрации в гидро- пневмоприводах. Установлено спектр частот, возникающих в них. Рассмотрены устройства тушения шума и вибрации в системах гидро- пневмоприводов. Особое внимание уделено устройствам активной компенсации низкочастотного шума и вибрации, построенных по принципам схем с обратной связью и схем, работающих по возмущению. Установлены перспективные схемные решения таких приспособлений и эффективные области их применения.

Ключевые слова: вибрация, шум, гидропривод, пневмопривод, активные системы, гашения вибраций, тушения шума.

Андренко Павло Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра гідропневмоавтоматики та гідроприводу, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: andrenko47@mail.ru.

Клітний Володимир Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра деталей машин та прикладної механіки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: vlad_klitnoy@ukr.net.

Андренко Павел Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра гидроневоавтоматики и гидропривода, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина.

Клитной Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, кафедра деталей машин и прикладной механики, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина.

Andrenko Pavel, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: andrenko47@mail.ru.

Klitnoi Vladimir, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: vlad_klitnoy@ukr.net

УДК 621.515: 62-251: 62-762

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37319

Гудков С. Н.,
Загоруйко А. В.

РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТОРЦОВОГО САЛЬНИКОВОГО УПЛОТНЕНИЯ С РЕВЕРСИВНЫМИ КАНАВКАМИ

В работе представлены результаты ресурсных испытаний торцового сальникового уплотнения с реверсивными канавками на опорной поверхности аксиально-подвижной втулки. Полученные результаты позволяют говорить об эффективности новой конструкции торцового сальникового уплотнения. Уплотнительный узел может использоваться при давлениях уплотняемой жидкости до 2 МПа, обеспечивая минимальные протечки и необходимый ресурс.

Ключевые слова: торцовое сальниковое уплотнение, пара трения, реверсивные канавки, податливое дно, гидродинамическое давление.

1. Введение

В условиях сравнительно низких значений показателя PV ($PV < 10$ МПа·м/с) сальниковые уплотнения остаются наиболее часто встречающимся типом уплотнений валов центробежных насосов общепромышленного назначения. Удачной альтернативой традиционным (радиальным) конструкциям сальниковых уплотнений являются торцовые сальниковые уплотнения, которые сочетают в себе принцип действия торцовых механических и радиальных сальниковых уплотнений. К основным преимуществам торцовых сальниковых уплотнений можно отнести: отсутствие требований прецизионной обработки пары трения, обусловленное применением в качестве одного из колец контактной пары податливой сальниковой набивки; высокую герметичность и долговечность уплотнительного узла, сравнимые с торцовыми механическими уплотнениями. Поэтому разработка и исследования новых конструкций торцовых сальниковых уплотнений, обеспечивающих минимальные протечки, потери мощности на трение и ресурс уплотнительного узла, является актуальным заданием.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Анализ литературных источников показал, что в ряде работ описываются методики расчета и экспериментального определения физико-механических свойств сальниковых набивок и герметичности уплотнительного узла [1–3]. Разработаны американские и европейские стандарты для сравнительных испытаний различных материалов сальниковых уплотнений [4–7]. Описаны методы лазерного текстурирования твердых поверхностей и оценено их влияние на упругогидродинамическую смазку пар трения [8, 9].

Следует отметить, что, несмотря на преимущества торцовых уплотнений с мягкой набивкой [4], пара трения традиционной конструкции торцового сальникового уплотнения, является существенно перегруженной. Это связано с тем, что сальниковая набивка 2, находящаяся в обойме 1, отжимается давлением уплотняемой жидкости p_1 от опорного диска 3, образуя по ширине пары трения два участка: конфузорный участок зазора и участок контакта, который играет основную роль герметизатора и является наиболее перегруженным (рис. 1, а).